

1. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки / А. Д. Трухний, Б. В. Ломакин. М. : Издательство МЭИ, 2002. С. 455-457.
2. Конструкция и расчет деталей паровых турбин / А. Н. Смоленский. М. : Машиностроение, 1964. С. 360-364.
3. Паровые турбины. Теория теплового процесса и конструкции турбин Книга 1 6-е издание / проф. Б. М. Трояновский. М. : Энергоатомиздат, 1993. С. 329-339.
4. Паровые турбины и конденсационные устройства. Теории, конструкции и эксплуатация / С. М. Лосев. М.-Л. : Энергия, 1964. С. 361-364.
5. Паровые и газовые турбины атомных электростанций / Б. М. Трояновский, Г. А. Филиппов, А. Е. Булкин. М. : Энергоатомиздат, 1985. С. 164-169.
6. Переверзев Д. А., Шубенко А. Л., Позигун М. П., Ковальский А. Э., Стрельников И. С. Каплеударная эрозия лопаточных аппаратов паровых турбин. Прогнозирование и методы защиты [Электронный ресурс] URL: <http://knigilib.net/book/211-energetichni-ta-teplotexnichni-procesi-j-ustatkuvannya-zbirnik-naukovix-prac-7-2012/14-kapleudarnaya-yeroziya-lopatochnyx-apparatov-parovykh-turbin-prognozirovanie-i-metody-zashhity.html> (дата обращения 14.11.2015).
7. Молочек В. А. Ремонт паровых турбин. [Электронный ресурс] URL: <http://www.studfiles.ru/preview/1193369/> (дата обращения 14.11.2015).
8. Эрозия деталей паровых турбин [Электронный ресурс] URL: <http://helpiks.org/1-131397.html> (дата обращения 14.11.2015).
9. Емелин С. А. Повышение КПД двигательных установок способом рекуперации сбросного тепла от их работы с помощью парового двигателя Емелина [Электронный ресурс] URL: <http://www.metodolog.ru/node/1783> (дата обращения 13.11. 2015).

УДК 662.76

Иванов М. В., Филиппов П. С., Левин Е. И.
Уральский федеральный университет
fps_proxi@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОМЕННОГО ГАЗА НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Аннотация. Рассмотрен мировой опыт утилизации доменного газа. Проведено сравнение способов утилизации доменного газа в отечественных и зарубежных металлургических комбинатов. Рассмотрены экономические аспекты замены паротурбинных утилизационных ТЭЦ на ПГУ.

В связи с тем, что в последнее время цены на органические топлива имеют восходящий тренд, а их будущая доступность недостаточно ясна, существует отчетливая тенденция к увеличению использования альтернативных видов топлива. Одним из технических мероприятий по повышению энергоэффективности в промышленности является использование вторичных энергоресурсов (ВЭР) [1]. В металлургической промышленности в качестве ВЭР используются побочные продукты металлургического производства (доменный газ, коксовый газ, конвертерный газ, финекс-газы, корекс-газы).

В России производством чугуна занимаются около 40 металлургических заводов, при этом около 80 % производства чугуна приходится на 5 основных предприятий [2]:

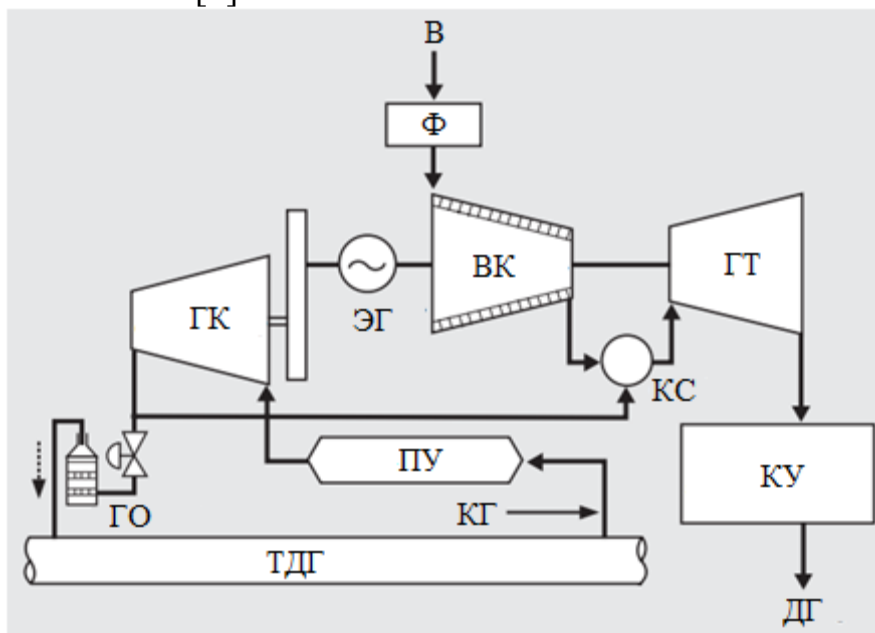
- ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (НЛМК) – около 20 % от общего объема производства;
- ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК) – 19 % от общего объема производства;
- Череповецкий металлургический комбинат (ЧерМК) ОАО «Северсталь» – 18 % от общего объема производства;
- ОАО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ОЗСМК) – 12 % от общего объема производства;
- ОАО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат» (НТМК) – 10 % от общего объема производства.

Большинство отечественных металлургических заводов используют свои побочные продукты в качестве ВЭР. На многих металлургических заводах для этого используют утилизационную ТЭЦ (УТЭЦ). Доменный газ, обогащенный коксовым или природным газом, сжигается на УТЭЦ с целью выработки электрической и тепловой энергии для покрытия собственных и городских нужд, а также с целью производства дополнительного количества пара для собственных нужд. Например, на НЛМК электрическая мощность УТЭЦ составляет 150 МВт, а тепловая мощность – 115 Гкал/ч. В состав УТЭЦ входят 3 паровых котла и 3 паровых турбин по 50 МВт. С вводом УТЭЦ повысилась энергетическая независимость НЛМК от внешних источников электроэнергии (уровень самообеспечения электроэнергией вырос до 56-60 %) и одновременно была решена задача утилизации доменного газа (в смеси с природным газом) в объемах до 360 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$ (расход природного газа – 21 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$). Использование доменного газа для выработки электрической и тепловой энергии позволяет заводу экономить ежегодно более 260 тыс. тонн условного топлива [3]. Доменный газ, образующийся на Челябинском металлургическом комбинате, используется в качестве основного топлива на Челябинской ТЭЦ (230 МВт), которая обеспечивает потребности Челябинского металлургического комбината в электроэнергии и снабжает тепловой энергией городских потребителей.

В ряде отечественных металлургических и машиностроительных заводов используют побочные продукты металлургического производства в собственных нуждах (например, для обогрева коксовых батарей) с целью снижения расхода основного топлива в домнах. Так, например, в ОЗСМК выходящий из печи доменный газ используется в воздухонагревателях, теплообменниках, предназначенных для нагрева дутья, а также на УТЭЦ для получения пара. На Металлургическом заводе им. Серова доменный газ, обогащенный природным газом, используется в качестве топлива нагревательного колодца крупносортового цеха.

Последние два десятилетия странами-лидерами по производству чугуна и стали являются Китай и Япония, в которых вот уже три десятилетия побочные продукты металлургического производства сжигают в камерах сгорания парогазовых установок (ПГУ) со значительно более высоким КПД ($\eta_{\text{эл}} \approx 51\%$) [4], чем на заводских УТЭЦ РФ ($\eta_{\text{эл}} \approx 24\text{-}34\%$) [5]. Одним из основных поставщиков

энергетического оборудования для таких ПГУ является японский концерн Mitsubishi Hitachi Power System (MHPS), до 2014 года более известный как Mitsubishi Heavy Industries. Начиная с 80-х годов прошлого века MHPS активно разрабатывает и внедряет в производство свои технологии сжигания низкокалорийных побочных продуктов металлургического производства на промышленных ПГУ. Первая подобная станция, с оборудованием MHPS, мощностью 16 МВт была построена в Японии в 1982 году, а в Китае мощностью 120 МВт – в 2006 году [6]. На сегодняшний день энергетическое оборудование концерна MHPS для утилизации побочных продуктов металлургического производства работает не только в Японии и в Китае, но и в Италии, Германии, Корее, Нидерландах, США и Украине. На рисунке представлена принципиальная схема ПГУ на коксо-доменном газе [7].



Принципиальная схема ПГУ на коксо-доменном газе:

В – воздух; Ф – фильтр; ЭГ – электрогенератор; ВК – воздушный компрессор;
ГК – газовый компрессор; ГТ – газовая турбина; КС – камера сгорания;
ПУ –пылеуловитель; ГО – газохладитель; КГ – коксовый газ;
ТДГ – трубопровод доменного газа; КУ – котёл-утилизатор; ДГ – дымовые газы

В работе [8] проведена экономическая оценка эффективности ПГУ на доменном газе, по результатам которого расчетный срок окупаемости в 1,5-2 раза ниже, чем для ТЭС, при этом КПД ПГУ на доменном газе составляет 52 %, что выше, чем КПД ПТУ на доменном газе (24-34 %).

Учитывая низкий срок окупаемости и снижение затрат металлургических предприятий можно прийти к выводу, что выработка электрической и тепловой энергии в цикле ПГУ на доменном газе экономичнее чем в цикле ПТУ на доменном газе. И, следовательно, замена устаревших УТЭЦ парогазовыми установками на доменном газе считается экономически целесообразным.

Список использованных источников

1. Энергосбережение в промышленности: 53 способа [Электронный ресурс]. URL: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/23> (дата обращения: 26.11.2015).

2. Российский чугун в мире [Электронный ресурс]. URL: <http://steel-review.ru/ferro-russia/> (дата обращения: 26.11.2015).
3. Турбины и Дизели [Электронный ресурс]. URL: http://www.soyuz-corp.ru/fileadmin/assets/files/%D0%A3%D0%A2%D0%AD%D0%A6_%D0%9D%D0%9B%D0%9C%D0%9A.pdf (дата обращения: 26.11.2015).
4. Best Available Techniques (BAT). Reference Document for Iron and Steel Production [Электронный ресурс]. URL: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu> (дата обращения: 25.11.2015).
5. Anshan Iron & Steel Group Corporation, China, Construction and Operation Experience of 300 MW Blast Furnace Gas Firing Combined Cycle Power Plant [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e444/e444032.pdf> (дата обращения: 25.11.2015).
6. Mitsubishi Hitachi Power System [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mhps.com/> (дата обращения: 26.11.2015).
7. Matsuda H., Komori T., Oka Y., Yamagami N. Large-Capacity, High Efficiency BFG-Firing Combined Cycle Plant with F Series Gas Turbine / Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. // Technical Review. 2004. Vol. 41. № 5. P. 1-3.
8. Ryzhkov A. F., Levin E. I., Filippov P. S. Use of poor industrial gases for power generation in the combined cycle // Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 6. P. 629-641.

Исследование выполнено в Уральском федеральном университете за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-00524).

УДК 621.182.3

Исаченко Д. Г., Иванова К. В., Лесных А. В.
Дальневосточный федеральный университет
isachenkooo47@gmail.com

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЫБЬЕГО ЖИРА ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В КОТЛАХ

Аннотация. В статье рассмотрена возможность использования рыбьего жира в котлах, работающих на жидком топливе, а также уточнена удельная теплота сгорания. Приведены данные о запасах и стоимости рыбьего жира. Приведены результаты серии экспериментов по возможности обогащения рыбьим жиром бурого угля марки 2Б. Применение в промышленной теплоэнергетике отхода производства – рыбьего жира, способно внести существенную экономию традиционных топливных ресурсов, для некоторых производств.

Одними из главных проблем промышленной теплоэнергетики, является постоянный рост цен на традиционные углеводороды и низкая культура эксплуатация котельного оборудования. Цена на твердое топливо достигает 5250 руб./т, на мазут 21000 руб./т [1]. На большинстве предприятий пищевой промышленности скапливаются отходы или вторичные продукты производства. На рыбоперерабатывающих предприятиях этим продуктом является – рыбий жир. Котлы этих предприятий работают на привозном жидком, реже на твердом топливе. Обусловлено это тем, что эти предприятия расположены удаленно. Поставка к ним